

*А.Г. ГУРИН*, д-р техн. наук, НТУ" ХПИ",  
*С.П. МОСТОВОЙ*, канд. физ.-мат. наук, НТУ" ХПИ",  
*О.Н. ЯРМАК*, НТУ" ХПИ",  
*АЛИ ШЕЙХИ АБУБАКЕР*, канд. техн. наук, ун-т Эль-Мегреб (Ливия)

## УТОЧНЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ НЕФТИ И ГАЗА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ

З метою вибору способу інтенсифікації видобутку нафти та газу необхідно детально вивчити геологічну структуру нафто- та газаносних шарів, що експлуатуються, спираючись на більш повне використання кінематичних та динамічних характеристик сейсмоакустичних хвиль. Застосування цифрової реєстрації та методик багаторазових перекриттів з використанням невибухових джерел електродинамічного типу дозволяє одержати більш повну інформацію. Розглянуті поверхневі та свердловинні випромінювачі, здатні випромінювати сейсмоакустичні коливання значної потужності в необхідному сейсмічному діапазоні частот.

With the purpose to choose a way of identification an oil and gas recovery is necessary to study geological structure maintained oil and gas-containing layers, basing on more full use kinematics and dynamic characteristics of seism acoustic waves. Application of digital registration and techniques of reusable overlapping with use of not explosive sources of electrodynamic type allows receiving more full information. Are considered superficial and borehole emitter, capable to radiate seism acoustic fluctuations of significant capacity in a necessary seismic range of frequencies.

**Постановка проблемы.** В процессе эксплуатации нефтяных и газовых скважин происходит снижение объемов добычи как из-за снижения остаточных запасов – остаточного нефтенасыщения продуктивных пластов, так и в результате перекрытия перфорационных отверстий цементно-песчаными смесями, продуктами разложения нефтеглинистых отложений. Очистка коллектора и труб в ближней зоне в настоящее время решается путем применения электроразрядных технологий, когда разрушение и удаление солевых и асфальто-смолистых отложений из призабойной зоны скважины производится целым комплексом воздействующих физических факторов: ударными волнами, импульсом давления пульсирующего пузыря и скоростным гидротоком, которые способствуют промывке [1]; применением технологических жидкостей и компонентов, которые обладают хорошими поверхностно-активными свойствами [2], что улучшает движение нефти в трещиноватых породах пласта.

Но прежде чем выбрать тот или иной способ обработки коллектора и пласта, необходимо иметь уточненные данные об их структуре. Различные геофизические зонды дают информацию о радиусе зоны проникновения бурового раствора, фиксируют водонасыщенность в переходной зоне и неизменной части пласта на расстоянии порядка 4 – 5 м от центра скважины.

Сложная природа и недостаточно изученный механизм образования остаточного нефтенасыщения пласта в различных геологопромысловых условиях вызвали необходимость изучения этого явления целым комплексом разнородных методов на более дальних расстояниях. На необходимость комплексного подхода – сочетания сейсморазведки с параметрическим, поисковым и разведочным бурением указывалось в работах ИФЗ АН СССР, УкрНИГРИ и других геологических организаций [3, 4]. Совместное исследование буровых скважин и площадные исследования позволяют получить решение структурных задач и максимально возможные сведения о скоростях распространения различных типов волн и поглощающих свойствах пород.

В первую очередь это относится к классам волн, различающихся по характеру поляризации – продольных, поперечных и обменных. Для многих типов разрезов, особенно при наличии тонких нефтяных пластов, отдельные отражающие и преломляющие границы имеют различную степень резкости при исследованиях на этих типах волн. Это позволяет более полно изучить разрез по сравнению с информацией при применении одного класса волн, выявить литологические изменения, соответствующие границам пласта-коллектора или изменение типа флюида, которое является прямым индикатором скопления углеводородов.

**Анализ литературы.** В литературе [1 – 11] достаточно полно описаны различные методы получения сейсмической информации при применении различных схем регистрации отраженных волн. В [5] приведены основные технические параметры невзрывных поверхностных источников продольных и поперечных волн, работа которых основана на взрыве в излучающей камере газообразной смеси пропан-бутана, бензина, жидкого пропана, распыляемого в струе кислорода, и др. Замена газодинамических источников электродинамическими позволила проводить работы при температурах окружающей среды менее 25<sup>0</sup>С мороза, повысила точность синхронизации, позволила управлять спектром возбуждаемых колебаний. Применение невзрывных электродинамических источников позволило более широко и качественно использовать метод отраженных волн (МОВ), метод общей глубинной точки (ОГТ), метод направленного фронта и другие прогрессивные, более информативные методы. В [6] описаны схемы полевых наблюдений при группировании как источников, так и сейсмоприемников при работе этими методами. В разделах, посвященных определению скорости сейсмических волн, рассмотрены вопросы измерения и цифровой обработки информации при выявлении зон аномального давления, при проявлении эффекта газогидратов.

Методика построения скоростных характеристик (годографов) волновых процессов рассмотрена в [7] для однородного полупространства и слоистой среды. Показано, что характерными преобладающими частотами продольных

волн в МОВ при глубине исследования до 5 – 7 км являются частоты 18 – 60 Гц, при возбуждении продольных волн со скважин возможно повысить спектр до 100 – 300 Гц. При тех же условиях преобладающие частоты поперечных волн в два раза меньше продольных.

**Цель статьи** – показать, что процесс интенсификации добычи нефти должен состоять из двух этапов: доразведки продуктивных пластов новыми, более прогрессивными методами определения необходимых сейсмических частот и амплитуд сигналов, и второго – интенсификации отдачи нефти в зону коллектора при длительном воздействии на пласт сейсмическими поверхностными и скважинными источниками, которые ранее использовались только для сейморазведки.

**Электродинамические источники (ЭДИ) сейсмических колебаний.** Принцип работы источников, их параметры и сферы применения описаны в [9]. Внедрение ЭДИ позволило решить ряд сложных задач сейморазведки нефтеносных пластов за счет накопления информации, использования амплитудного, фазового и корреляционного анализа сейсмических сигналов, реализации цифровых методов выделения сигналов отклика, фильтрации помех, выделения параметров скорости распространения волновых полей. Применение метода отраженных волн (МОВ) и корреляционного метода преломленных волн (КМПВ), дальнейшее развитие управляемого направленного возбуждения и регулируемого направленного возбуждения требуют, чтобы спектр излучаемых колебаний находился в диапазоне 20 – 70 Гц. Высокочастотные модификации этих методов используют диапазон частот от 70 до 500 Гц.

Одной из основных характеристик источника сейсмических волн является спектр излучаемых колебаний. Наличие высоких частот в спектре – необходимое условие для получения прослеживающихся отражений от границ раздела. С другой стороны – необходимо производить излучение в области упругих деформаций грунта, что позволяет обеспечить высокую стабильность. Для этого необходимо, чтобы удельная нагрузка на грунт не превышала 0,2 – 0,7 МПа, смещение излучающей плиты – не более 1 – 5 мм, а скорость нагружения грунта порядка 0,2 – 0,5 м/с [8, 11]. Эти требования реализованы в одной из конструкций поверхностного ЭДИ на базе трактора Т-150К (рис. 1). Имея 6 преобразователей с общей площадью излучающей поверхности до 1,5 м<sup>2</sup>, источник при запасаемой энергии 60 кДж может развивать импульс давления с амплитудой до  $5 \cdot 10^5$  Н, со спектром 20 – 120 Гц. Глубина исследований одиночным источником до 3,5 – 4,0 км, при изучении более глубоких горизонтов необходимо группирование источников.

Для более детального изучения межскважинных пространств используется метод межскважинного сейсмического просвечивания на каналовых волнах, который предназначен для изучения строения пластов с

целью прогнозирования запасов минерального сырья, детальной разведки и доразведки в процессе эксплуатации нефтяных скважин.

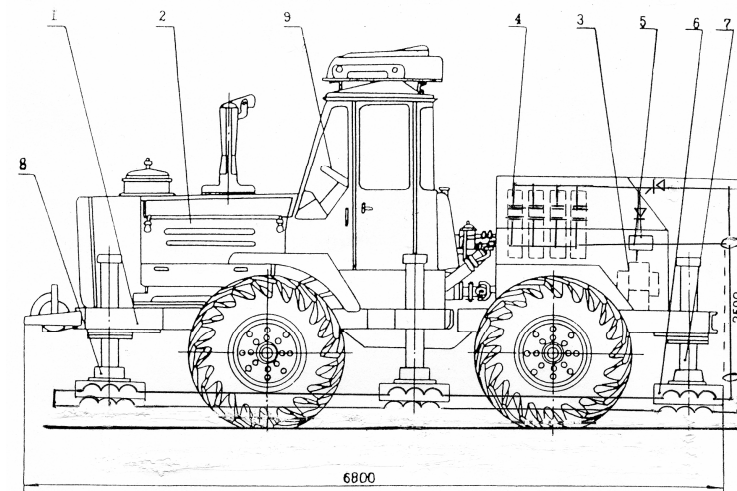


Рис. 1. Электродинамический источник для возбуждения сейсмических колебаний с поверхности земли: 1, 2 – транспортное средство источника, трактор Т-150К с монтажной рамой; 3 – повысительно-выпрямительное устройство с генератором переменного напряжения; 4 – накопитель энергии (конденсаторная батарея); 5 – блок автоматики и синхронизации; 6 – излучатели электродинамического или магнито-импульсного типа (6 штук); 7 – прижимные гидроцилиндры; 8 – установочные фланцы излучателей; 9 – пульт управления источником

В основу метода положено использование сейсмических наблюдений для изучения динамических характеристик каналовых волн, образующихся и распространяющихся в нефтяных пластах, которые в сейсмическом отношении являются волноводами.

При исследовании данным методом используются две скважины, пересекающие изучаемый нефтеносный пласт. В одной из них (II) производится возбуждение упругих колебаний, а в другой (I) – их прием. На рис. 2 показана система наблюдений в методе межскважинного сейсмического просвечивания. Для возбуждения каналовых волн могут использоваться как взрывные (электродетонаторы), так и невзрывные излучатели, размещаемые на различной глубине в скважине II. Регулируемые амплитудные и спектральные характеристики можно получить, применяя электродинамические излучатели, приведенные на рис. 3 и 4. Для приема и регистрации волн применяются скважинный и наземный пункты приема: скважинный снаряд с сейсмоприемниками и сеймостанция типа ВСП-1М.

При исследованиях принята система неперерывного вертикального профилирования, сочетающая наблюдения с общими пунктами возбуждения ОПВ и приема ОПП в нефтяном пласте с одновременными наземными контрольными наблюдениями.

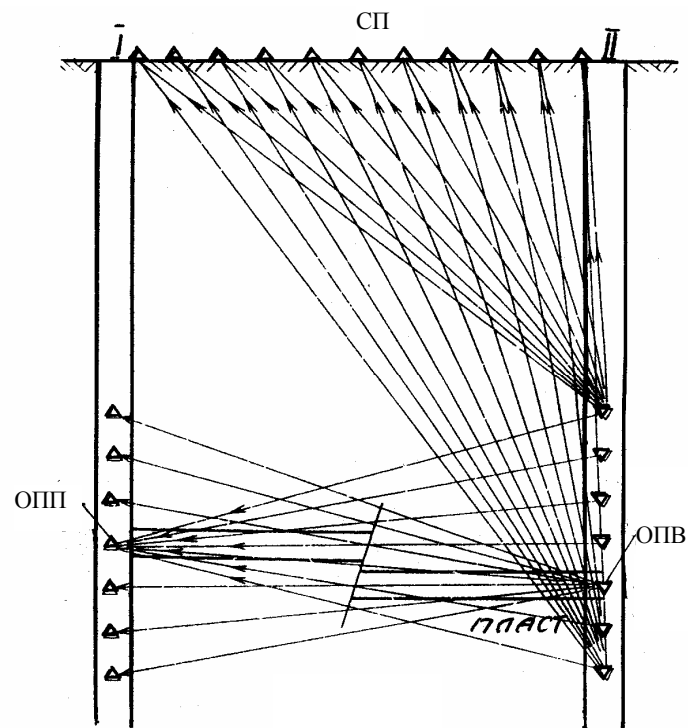


Рис. 2. Система наблюдений в методе межскважинного сейсмического профилирования: ОПП – общий пункт приема; ОПВ – общий пункт возбуждения колебаний пласта; I – II – скважины; СП – сейсморегистраторы

Выделение каналовой волны и определение её динамических характеристик производится по временным разрезам ОПВ и ОПП. Прогнозирование наличия нефтеносных включений в межскважинном пространстве осуществляется выделением аномальных значений на фоне нормального поля по совокупности амплитудно-энергетических, скоростных, спектральных и поляризационных параметров каналовой волны. Цифровая обработка материалов может быть произведена с помощью сейсмостанции типа СЦС-3.

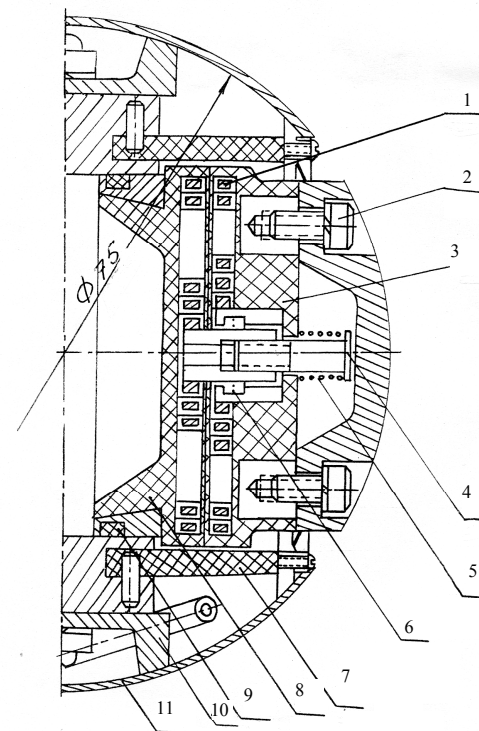


Рис. 3. Скважинный низкочастотный электродинамический излучатель акустических импульсов: 1 – плоские катушки излучателя; 2 – крепежные элементы бойка с корпусом подвижной катушки; 3 – корпус стеклоэпоксидной подвижной катушки; 5 – возвратная пружина с демпфирующим устройством 4 и 6; 7 – направляющий стеклоэпоксидный стакан; 8 – литой корпус неподвижной катушки; 9 – уплотнители; 10 – крепежные элементы с неподвижной катушкой; 11 – корпус излучателя

Низкочастотный электродинамический излучатель колебаний (см. рис. 3) представляет собой герметизированный цилиндр, внутри которого размещено несколько излучающих электродинамических устройств, формирующих ударный импульс, который через бойки передается в среду, заполняющую скважину. Применение двух соосных плоских катушек, включенных последовательно-встречно, позволяет получить импульс силы, форму и спектр которого можно регулировать путем формирования импульса разрядного тока конденсаторной батареи, расположенной вместе с зарядным и коммутирующим устройством в одной конструкции излучателя.

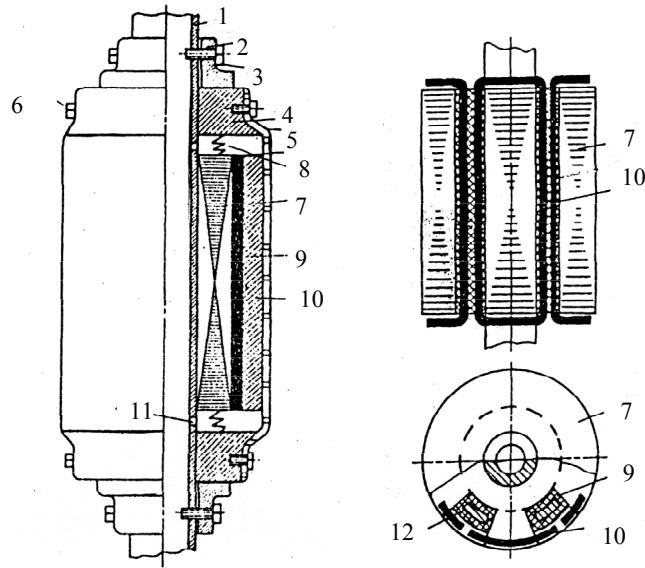


Рис. 4. Электродинамический скважинный вибратор с повышенным спектром частот сейсмических воздействий на пласт: 1 – крепежная шпонка; 2 – соединительный фланец; 3, 6 – крепежные элементы; 4, 5 – прижимное кольцо и корпус вибратора; 7 – магнитопровод вибратора; 8 – упорные пружины; 9 – первичная силовая обмотка; 10 – короткозамкнутые витки; 11 – отверстия для компенсации влияния давления внешней среды

Эффективность излучателя определяется коэффициентом связи между катушками [10], поэтому изоляционный зазор между ними снижен за счет применения стеклоэпоксидного корпуса до минимального зазора. Он позволяет осуществлять вибрационное воздействие на призабойную зону продуктивных пластов нефтяных скважин в диапазоне 10 – 50 Гц. Это обеспечивает глубину проникновения колебаний в пласт от 1,5 до 3,0 м и очистку нефтеносных капилляров в пласте от пластовых вод, промывочной жидкости и осадков бурового раствора.

Перемещение ударника и смещение окружающей среды могут быть определены при совместном решении уравнений, описывающих электрические и механические процессы в излучателе. Система уравнений механического процесса имеет вид:

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = k_1 (m_1 g) - F_{эм} [t, i(t)]; \quad (1)$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + \eta \frac{dx_2}{dt} + cx_2 = F_{эм} [i(t), t] + (m_2 g) k_2, \quad (2)$$

где  $m_1$  – масса неподвижной катушки с элементами крепления;  $m_2$  – масса подвижной катушки и бойка;  $x_1(t), x_2(t)$  – перемещение инертной массы  $m_1$  и перемещение границы бойка;  $\eta = V_S \rho N S$  – коэффициент рассеивания в среде;  $V_S$  – скорость поперечной волны в среде;  $\rho$  – плотность среды;  $N$  – количество излучателей;  $S$  – площадь поверхности контакта бойка;  $c$  – коэффициент упругости среды;  $k_1, k_2$  – коэффициенты, учитывающие потери на трение в элементах излучателя.

Для повышения разрешенности сейсмической записи при межскважинном просвечивании необходимо повышать частоту в спектральном составе колебаний погружного вибратора. Это возможно осуществить путем снижения массы ударника и подвижной катушки излучателя. В электродинамическом вибраторе (рис. 4) это достигается за счет замены подвижной катушки с бойком короткозамкнутыми витками, расположенными вместе с неподвижной обмоткой в пазах шихтованного магнитопровода, и изолированной герметично от среды скважины резиновой оболочкой.

Работает вибратор следующим образом. При разряде конденсаторной батареи на обмотку, уложенную в пазах магнитопровода, в магнитной системе возникает магнитный поток, который индуцирует в короткозамкнутых витках вихревые токи. При взаимодействии основного магнитного потока с магнитным полем вихревых токов возникает силовое взаимодействие между силовой обмоткой и короткозамкнутыми витками. Основная обмотка, размещенная в пазах магнитопровода и пропитанная эпоксидным компаундом, неподвижна, а короткозамкнутые витки под действием электродинамических сил начинают свободно перемещаться в пазах, передавая импульс давления через оболочку исследуемой среды.

Система уравнений для определения токов  $i_1$  и  $i_2$ , протекающих в основной обмотке и короткозамкнутом витке, имеет вид:

$$R_1 i_1 + \frac{d\Psi_1}{dt} + \frac{1}{c_1} \int i_1 dt = 0; \quad (3)$$

$$R_2 i_2 + \frac{d\Psi_2}{dt} + \frac{1}{c_2} \int i_2 dt = 0; \quad (4)$$

$$\Psi_1 = L_{\sigma 1} i_1 + \omega_1 \Phi_0 (i_1 \omega_1 + i_2 \omega_2); \quad (5)$$

$$\Psi_2 = L_{\sigma_2} i_2 + \omega_2 \Phi_0 (i_1 \omega_1 + i_2 \omega_2), \quad (6)$$

где  $\Psi_1, \Psi_2$  – потокосцепления соответствующих катушек;  $L_{\sigma_1}, L_{\sigma_2}$  – индуктивности рассеивания первой и второй катушек;  $\omega_1, \omega_2$  – число витков;  $\Phi_0 (i_1 \omega_1 + i_2 \omega_2)$  – главный магнитный поток, нелинейно зависящий от намагничивающих сил.

При определении параметров импульса электромагнитной силы

$$F_{эм} = i_1(t) i_2(t) \frac{dM}{dx} \quad (7)$$

необходимо учесть, что в данном случае взаимоиנדуктивность является сложной функцией

$$M = f[\mu(H), i_1(t), i_2(t), x(t)], \quad (8)$$

зависящей не только от токов  $i_1(t), i_2(t)$  и координаты  $x(t)$ , изменяющейся со временем, но и нелинейно от магнитной проницаемости  $\mu(H)$ , т. е. от степени насыщения стали.

**Выводы.** 1. Разработке методов интенсификации добычи нефти из рабочих скважин должен предшествовать детальный дополнительный анализ залежи новыми методами и аппаратурой сейсморазведки как с поверхности земли, так и со скважин. 2. Разработанные конструкции электродинамических источников позволяют получить необходимые типы сейсмических волн в исследуемой среде и дать более точные сведения об остаточной нефтенасыщенности пластов.

**Список литературы:** 1. Скважинная электрогидравлическая аппаратура: Проспект ЗАО "Объединение "Бинар". – Россия, 2006. 2. Проспект ЗАО "Ренфорс". – Россия, 2005. 3. Апелюхин Н.П., Асан-Джалапов А.Г., Барабанов В.Л., Лавров В.С., Николаев А.В. Увеличение нефтеотдачи сейсмическим воздействием на пласт // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2004. – № 03 (09). – С. 39–41. 4. Методика и техника сейсморазведки // Материалы 8-й Всесоюзной научно-технической геофизической конференции в г. Тюмени, 23–25 ноября 1976 г. – М.: Недра, 1979. – 125 с. 5. Потапов О.А. Организация и технические средства сейсморазведочных работ. – М.: Недра, 1989. – 260 с. 6. Шерифор Р., Гелуарт Л. Сейсморазведка: В 2 т. – М.: Мир, 1987. – Т. 1. – 448 с. 7. Сейсморазведка: Справочник геофизика: В двух книгах / Под ред. В.П. Моконова. – М.: Недра, 1990. – Книга первая. – 336 с. 8. Николаев А.В. Изучение Земли невзрывными сейсмическими источниками // Исследование Земли невзрывными источниками. – М.: Наука, 1981. – С. 5–29. 9. А. с. 807818. Установка для сейсмической разведки / Е.П. Анкудинов, А.Г. Гурин, Б.И. Кальченко и др. – Оpubл. 20.10.1980. 10. А. с. SU1697331. Электродинамический вибратор / А.Г. Гурин, О.А. Литвиненко, В.И. Огирь, Л.Р. Костюк. – Оpubл. 08.08.1991. 11. Померанц Л.И., Бондаренко М.Т., Гулин Ю.О., Козяр В.Ф. Геофизические методы исследования нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1981. – 376 с.

Поступила в редакцию 10.11.2006

УДК 681.323

**В.М. ГУСЯТИН**, канд. техн. наук, ХНУРЭ (г. Харьков),  
**А.Е. ГРОМЕНКО**, ХНУРЭ (г. Харьков)

## ПОДХОД К ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРИАНГУЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ТРАССИРОВАНИЯ ЛУЧЕЙ

У статті введено поняття гранично триангульованої поверхні, розглянуті способи її отримання і завдання, приведено алгоритм пошуку точок перетинання проєкційного променя з трикутником цієї поверхні. Для запропонованого підходу розглянуті особливості реалізації технології субдискретизації екрану, виконана оцінка необхідної пропускну здатності шини даних, проведено порівняння по обчислювальних витратах з архітектурою SaarCOR, запропоновано структуру спецобчислювача, який оптимізований для паралельно-конверсної архітектури з безперервним потоком вхідних даних.

In the article it is introduced conception of ultimate triangulated surface, obtaining method and representation such surface is considered. Intersection algorithm projection ray with triangle is described. For proposed approach is analyzed features of supersampling realization, rough estimate for capacity of data bus is performed, computing costs comparison with SaarCOR architecture is introduced, special numerator architecture is proposed.

**Актуальность и постановка проблемы.** В настоящее время изображения трехмерных сцен для систем визуализации (СВ) синтезируются в основном двумя методами: прямым и обратным трассированием лучей [1]. На современном этапе развития компьютерной графики наиболее развит метод прямого трассирования. Метод обратного трассирования, хотя и требует больших вычислительных и аппаратных затрат для своей реализации, но обладает рядом существенных преимуществ: обработка динамических источников света и теней, расчет вторичного освещения, преломление и отражение лучей света [1, 2]. Все это позволяет данным методом синтезировать более реалистичное изображение. Поэтому разработка подсистем и узлов СВ, работающей по обратному методу, актуальна. Сейчас это направление активно исследуется как в нашей стране, так и за рубежом. Имеются разработки в области синтеза изображений облаков [3], рельефа [4], объектов, состоящих из совокупности поверхностей второго порядка и плоскостей [5]; рассматриваются вопросы визуализации источников света [6]. Разработкой спецпроцессоров, работающих по методу обратного трассирования, занимаются коллективы из Саарлендского университета (Saarland University) [7] и университета Торонто (University of Toronto) [8]. Существует коммерческая реализация аппаратного ускорителя метода обратного трассирования под названием PURE, разработанного компанией Advanced Rendering Technology ([www.art-render.com](http://www.art-render.com)).

В современной компьютерной графике из-за преобладания метода прямого трассирования представление 3D-объектов в виде триангулированной